

从青海湖现代沉积看鄂尔多斯盆地 延长组滩坝砂体的发育与保存

王菁¹, 刘元博², 李相博¹, 刘化清¹, 张志杰³, 完颜容¹, 王宏波¹, 黄军平¹

1 中国石油勘探开发研究院西北分院; 2 中国石油长庆油田公司第一采油厂; 3 中国石油勘探开发研究院

摘要 基于对青海湖滩坝砂体形成和保存条件研究的认识,应用“将今论古”的研究方法,从物源供给、湖盆底形、风动力-水动力、湖岸线形态及湖平面变化(层序演化)等方面,对现代青海湖与鄂尔多斯盆地滨浅湖滩坝沉积进行了对比研究。认为鄂尔多斯湖盆在上三叠统延长组沉积期间,长9—长8₂—长7沉积期既处于二级层序的早期,同时又位于三级层序湖侵体系域,十分有利于陆源碎屑滩坝的保存。建立了延长组滨浅湖滩坝砂体分布的预测模型,指出盆地南部(包括西南部与东南部)是长9—长8₂—长7期滩坝砂体发育与保存的有利地区,也是未来寻找滩坝型油气藏的有利地区。

关键词 滨浅湖; 滩坝; 现代沉积; 青海湖; 延长组; 鄂尔多斯盆地

中图分类号:TE122.2 文献标识码:A

0 前言

滩坝砂体由于经历了湖浪作用的搬运淘洗,物性良好,因而成为近年来中国沉积学界与石油勘探界关注的热点之一^[1-2]。

近年来,国内很多与滩坝砂体有关的油气藏相继被发现,例如松辽盆地南部海坨子—大麻苏湖湾区青山口组油藏^[3],四川盆地川西坳陷蓬莱镇组气藏^[4],以及东部诸多小型断陷盆地中发现的油气藏等^[5-10]。同时,在现代湖盆中也发育有大规模的滩坝砂体,例如山东峡山湖东岸大片的滩砂^[11],鄱阳湖石门山岛北坡的沿岸滩坝^[12],青海湖东岸和东南岸成排分布的滩砂和坝砂等^[13-14]。总体而言,国内外学者针对陆相盆地滩坝砂体的类型、沉积特征、分布规律、沉积模式等方面做了大量的工作,研究较为深入^[5-7,10,15-16]。但在鄂尔多斯大型坳陷湖盆延长组的沉积相研究中,以往对滨浅湖滩坝砂体重视不够,大部分研究者在编制延长组沉积相图或砂体分布图时都采用了“分流河道砂体”的观点^[17-21];少

部分研究者提出了“水下分流河道与河口坝复合成因”的认识^[22-25],也只局限于三角洲范围内。几乎所有研究者都忽视了三角洲沉积体系之外或者湖湾地区真正意义上的滩坝砂体的存在。那么,延长组沉积时究竟有无滩坝砂体沉积?它们分布在哪里?有无油气勘探价值?基于这一科学问题,本文采用“将今论古”的思维和方法,试图通过对现代沉积滨浅湖滩坝砂体分布规律的研究,建立古代滩坝砂体的分布预测模型。

1 青海湖滩坝砂体研究的认识与启示

青海湖是我国最大的内陆高原湖泊,除发育三角洲沉积体系外,滨浅湖沉积也非常发育,其中滩坝砂大致沿平行湖岸线的方向成排成带发育(图1)。本文作者曾分析了青海湖滩坝砂体的沉积特征、形成与保存的地质模式,认为物源、风动力-水动力、湖盆底形和湖岸线是决定青海湖滩坝形成的主控因素,其中物源为滩坝形成提供了物质基础,风动力-水动力为沉积物改造及滩坝形成提供了源动力,湖盆底形

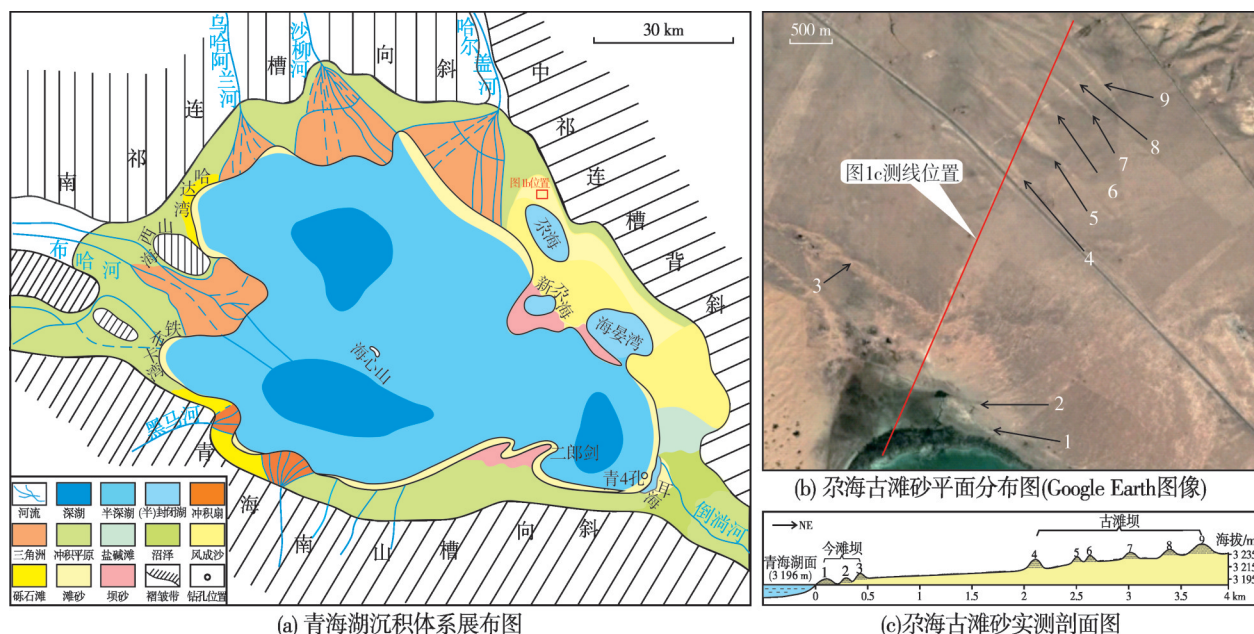
收稿日期:2020-06-28; 改回日期:2021-08-20

本文受国家自然科学基金项目“鄂尔多斯盆地延长组深水块状砂岩形成机理及沉积模式研究”(编号:41772099)、国家科技重大专项课题“岩性地层油气藏区带、圈闭有效性评价预测技术”(编号:2017ZX05001-003)、中国石油天然气股份有限公司重大科技项目“典型湖盆源-汇系统分析与岩相古地理重建”(编号:2016B-0307)共同资助

第一作者:王菁,高级工程师,主要从事石油地质综合研究工作。通信地址:730020 甘肃省兰州市城关区雁儿湾路535号中国石油勘探开发研究院西北分院;E-mail:wangjing2883@126.com

与湖岸线决定了滩坝形成的平面位置与规模^[13]。同时,结合前人对青海湖的形成与演化^[26]、现代沉积环境与沉积相特征的研究成果^[27],作者研究了更新世以来青海湖湖平面(基准面)升降变化规律与滩坝砂体分布之间的关系^[13],得到了一个重要启示,即陆源

滩坝砂体的形成较为容易,但保存较难。只要具备物源、湖盆底形及风动力-水动力等基本条件,低位域、高位域及湖侵域都可能形成滩坝砂体,但只有位于长期基准面旋回早期或三级层序湖侵期的滩坝沉积才能得到较好的保存。



注: b图与c图中的数字编号表示尕斯库勒湖附近的9排滩砂。

图1 青海湖沉积体系展布及尕斯库勒湖古滩砂分布图(据文献[13])

Fig. 1 Sedimentary system of Qinghai Lake and distribution of ancient beach sand in Gahai (cited from reference [13])

2 鄂尔多斯盆地延长组滩坝砂体有利层段与地区分析

根据上述对现代青海湖滩坝砂体研究的认识,本文从物源供给、湖盆底形、风动力-水动力、湖岸线形态及湖平面变化(层序演化)等方面,对现代青海湖与鄂尔多斯盆地延长组的滨浅湖滩坝沉积进行对比研究。

2.1 物源供给特征

滩坝是通过波浪作用对三角洲砂体改造而形成,因而常分布在三角洲前缘侧翼或三角洲之间的湖湾处。注入青海湖的常年河流(非季节性河流)主要有5条:西岸的布哈河、北岸的乌哈阿兰河和沙柳河、东北岸的哈尔盖河及南岸的黑马河(图1a),这5条河入湖处均形成不同类型三角洲,为滩坝的形成提供了充足的物源^[28]。其中,湖盆南岸

与东北岸均为扇三角洲,物源主要为粗碎屑物质,因而附近的滩坝以砂砾石等粗粒沉积为主;而位于西岸的布哈河为曲流河三角洲,其附近的湖湾地区滩坝以粗砂—中细砂沉积为主^[29-30]。

晚三叠世鄂尔多斯原型盆地周缘被古陆块或褶皱造山带所围限(图2),因而具有多物源供给的特点,其中阿拉善古陆从西北部向盆内输送物源,阴山褶皱带从北部、东北部向盆内供应沉积物,而秦岭—祁连造山带是盆地东南部、南部和西南部沉积的物质供给者^[31-33]。上述物源体系并非同时、同等程度发育,而是此强彼弱、互为消长。作者最近的研究也表明^[33],延长组长9—长8时期的盆地主要发育东北、西北以及西部物源体系,不存在南部物源体系。由此看来,在延长组长9—长8沉积期,来自盆地3个方向的三角洲砂体有可能经过波浪作用改造、搬运在盆地南部地区(包括西南与东南)形成滩坝砂体。

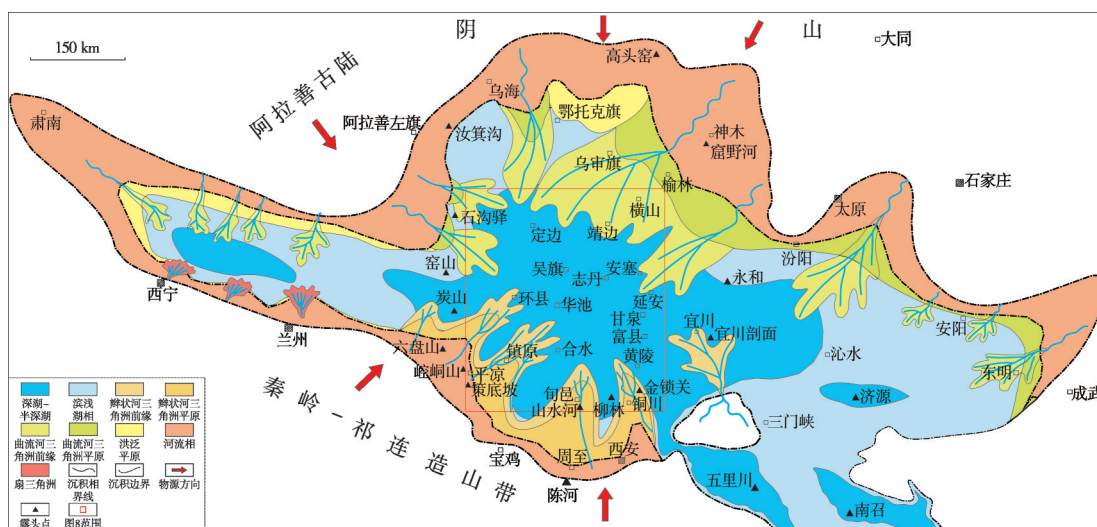


图2 晚三叠世鄂尔多斯原型盆地最大湖泛期沉积相图(据参考文献[33])

Fig. 2 Sedimentary facies of Ordos prototype basin during the largest lacustrine flooding period in the Late Triassic(cited from reference [33])

2.2 湖盆底形特征

湖盆底形对滩坝砂体的控制表现在两个方面:一是影响水动力的强弱,二是决定砂体沉积的规模。前人研究表明^[34-35],开阔平坦的地形地貌有利于沉积物的垂向加积,是滩坝沉积形成的有利场所。湖盆底形过缓,波浪作用弱,不容易形成高能水动力环境,难以对沉积物进行充分改造,不利于滩坝的形成;湖盆底形太陡,砂体沉积的空间受到限制。顾家裕在“湖泊中的滩与坝”(个人多媒体材料,2015)中认为滩坝砂体发育的有利坡度不宜超过70 m/km(4°)。青海湖的湖岸带比较开阔,除部分地区坡度较陡外(10°±)^[29],大部分地段坡度平缓(小于5°)。

许多学者对鄂尔多斯盆地延长组沉积期的湖盆底形进行过恢复:傅强等^[35]认为延长期湖盆东北部的底形坡度为1°~3°,西南部为3°~5°;杨仁超等^[36]最新的研究表明盆地西南部坡度约为3.5°~5.5°,东北部约为1.5°~2.5°。上述不同学者的认识基本一致,即延长期湖盆底形具有“北缓南陡”的特征,西南部湖盆底形在4°左右。由此看来,盆地西南部是鄂尔多斯盆地长8—长9滩坝砂体发育的有利地区。

2.3 风动力-水动力特征

水动力是沉积物再改造及滩坝砂体形成的主要地质营力,其大小、方向与风力场有关^[37]。风不但具有侵蚀、搬运和沉积的能力,还可以向水体传

输能量和动量,营造波浪和风生水流,成为盆地滨岸带沉积物搬运的源动力。

青海湖湖盆四周是海拔超过4 000 m的高大地,属于西北干旱、半干旱与青藏高原气候的交汇之地,常年盛行西北风^[38-39],其下风区(迎风面)位于盆地东岸的海晏湾到东南岸的耳海一带。目前的研究资料表明^[13],青海湖现代滩坝砂体沉积也主要分布在这一地区,从根源来看,显然这种分布特征与青海湖地区的风力场有关。在常年西北风的作用下,波浪由西(北)向东(南)传播,沉积物被再改造搬运到了下风区的迎风面一带,这是决定青海湖滩坝砂体分布位置的主要原因。

就鄂尔多斯盆地延长组沉积而言,晚三叠世时季风可能对其影响不大,原因是包括鄂尔多斯盆地在内的整个华北地区当时位于泛大陆东侧古特提斯北部的长条形孤岛上^[40],周围被泛大洋包围,类似于现今南半球的澳洲,大陆与大洋之间温度差异不大,气压基本上呈带状。由于晚三叠世鄂尔多斯盆地古纬度介于北纬25.40°~31.03°^[41-42],处于低纬度信风带上,所以东北信风可能对湖盆波浪起重要控制作用,波浪的传播方向应该由东北指向西南方向。考虑到晚三叠世—中侏罗世期间鄂尔多斯地块发生了至少45°的大角度逆时针构造旋转^[43],当时东北信风的下风区(迎风面)应该位于现今盆地的南部地区(包括西南与东南)。由此说明,从风动力-水动力条件看,盆地西南部也是滩坝分布的有利位置。

2.4 湖岸线形态特征

湖岸线的位置与形态(凹岸与凸岸)影响水动力能量变化,从而决定滩坝砂体的发育和分布。从青海湖现代沉积来看,在上风区(背风面)波浪改造作用较弱,凹岸(湖岸线向陆地凹进)与凸岸(湖岸线向湖内凸出)位置均不利于大规模滩坝的发育;在下风区(迎风面),波浪作用改造较强,在凸岸位置容易形成沙嘴和沙坝沉积(如二郎剑地区),而在凹岸位置(湖湾)以成排分布的滩沙为主(如东岸海晏湾地区和耳海地区)^[13]。在鄂尔多斯盆地延长组沉积时期,现今盆地的西南部整体处于下风区的湖湾背景,因此有利于滩坝砂体(尤其是滩砂)的发育。

2.5 湖平面变化(层序演化)特征

不论是陆相还是海相环境,目前发现的有一定规模的滩坝体系主要分布在海(湖)侵体系域中^[6,44]。以青海湖现代沉积为例,规模较大的滩坝砂体分布在中上更新统二郎尖组中^[13],从青海湖5 Ma以来的湖平面升降变化规律看,二郎尖组恰好为湖平面(基准面)上升旋回即湖侵期的沉积(图3a)。形成于湖侵背景的古滩坝(二郎尖组)砂体能够不断被新的滨岸沉积所覆盖而得以很好保存,尤其当湖平面快速湖侵时,位于湖岸线附近的早期滩坝砂体及时被随后沉积的浅湖泥岩所覆盖,波浪难以对其持续改造,因而保存较好^[13]。

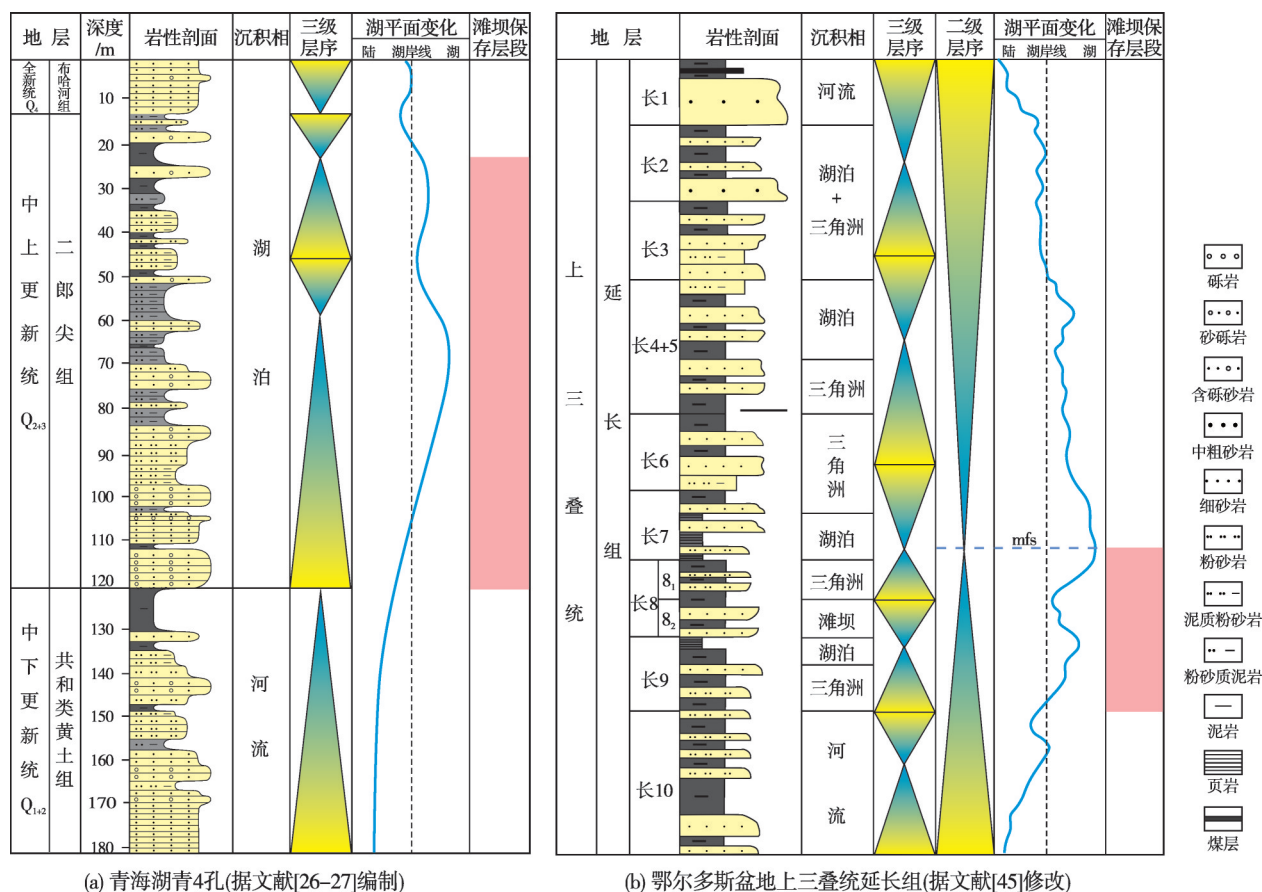


图3 湖平面变化与滩坝砂体保存关系图

Fig. 3 Relationship between the change of lake level and the preservation of beach and bar sand bodies

鄂尔多斯盆地延长组组成了一个完整的二级构造层序旋回(超长期基准面旋回)^[45-47],进一步可以划分出5个三级层序(长期基准面旋回)(图3b)。其中,长10—长7属于二级构造层序早期的沉积,与青海湖滩坝发育条件相类比,可以看出长10—长7

是整个延长组沉积时期滩坝砂体得以保存的最有利层位。然而,由于长10期鄂尔多斯盆地主要为河流相沉积^[48],缺少湖泊相沉积,因此不可能发育滩坝砂体;长8₁沉积期为浅水湖泊三角洲环境,湖盆底形平坦,湖浪作用相对较弱^[49],因而也不具备滩

坝砂体沉积的条件。对比分析表明,只有长9、长 8_2 和长7沉积期既处于二级构造层序早期,同时又位于三级层序湖侵体系域,有利于陆源碎屑滩坝保存。

3 延长组滩坝砂体的确认

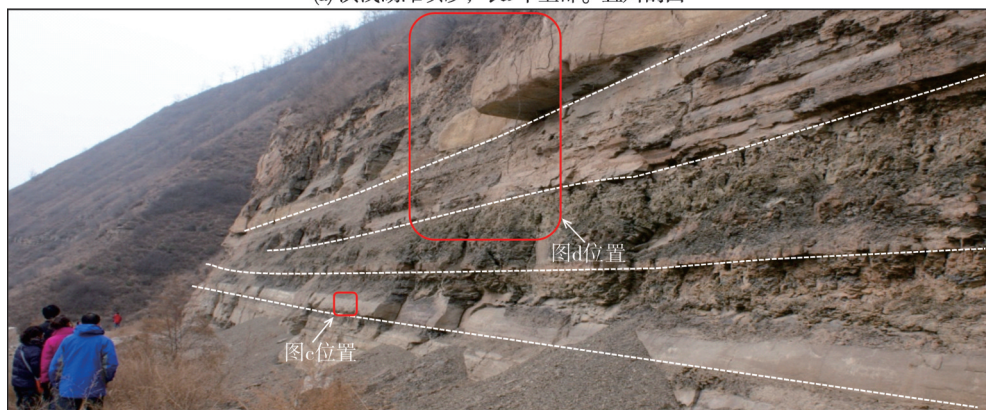
基于上述滩坝砂体发育有利地区、有利层段的研究,重点对鄂尔多斯盆地南部延长组长9—长 8_2 —长7的砂体成因进行了重新认识。在盆地南部地区(包括东南与西南)延长组长9—长 8_2 露头上,砂体普遍呈席状或面状分布,横向延伸稳定,如宜川剖面 and 旬邑

山水河剖面的砂体延伸1 km以上(图4a,4b);常见交错层理、沙纹层理以及平行层理等(图4c);砂体内部不具有单向水流的河道沉积构造,砂体底面平坦无冲刷、无滞留沉积(图4d),垂直虫孔和原地植物根茎发育(图4d)。露头的综合特征揭示为滨浅湖相沉积。

从钻井岩心看,研究区长 8_2 上部叠置的砂岩沉积构造类型多样,主要表现为底部发育低角度交错层理(图5a)、沙纹层理(图5b,5c)和平行层理,向上多为块状层理(图5d)和板状交错层理。



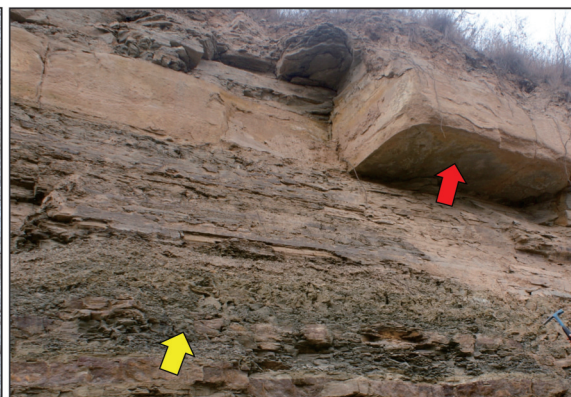
(a) 滨浅湖滩坝砂, 长9中上部。宜川剖面



(b) 滨浅湖滩坝砂, 长8。旬邑山水河剖面



(c) 交错层理、沙纹层理、平行层理, 位置见照片b



(d) 照片b的局部放大。红色箭头指示砂岩底面平整, 无侵蚀现象; 黄色箭头所指为炭质泥岩, 见植物根系

图4 鄂尔多斯盆地东南部延长组露头剖面照片

Fig. 4 Outcrop photos of Yanchang Formation in southeastern Ordos Basin



图5 鄂尔多斯盆地环县—合水地区长₈₂典型井岩心沉积构造特征

Fig. 5 Sedimentary structural characteristics of cores of Chang 8₂ in typical wells in Huanxian-Heshui area, Ordos Basin

从单井沉积相综合柱状图来看,自西向东不同地区长₈砂体特征表现出一定的规律性(图6)。H84井靠近盆地西部强物源区,在长₈₂取心井段显示出河道砂岩与滩坝砂岩共存(河坝共生型)的特征(图6a),其中河道砂体以中砂岩和细砂岩为主,垂向显示为正粒序特征,砂体底部可见冲刷面和泥砾,自然伽马曲线形态呈箱形或钟形;而上部叠置的单砂体为下细上粗的反粒序,底界面平整,在测井曲线上又表现为漏斗形,显示为滩坝沉积。Z91井和X171井位于盆地东部,远离强物源区,取心井段岩性多为分选和成熟度较高的粉砂岩和细砂岩,单层砂体以下细上粗的反旋回(粒序)居多(图6b, 6c);由于其厚度较大,在测井曲线上又表现为漏斗形或锯齿状,以往生产中多解释为分流河道沉积。本文研究认为这些砂体由于缺少典型河道沉积标志,应该属于滩坝成因。多个滩坝砂体在垂向上叠置(滩坝叠置型),厚度可达数十米。对盆地西南部多口井的长₈₂砂体粒度进行统计分析,其粒度概率累积曲线主要有“高斜两跳一悬夹过渡”式和“高斜两跳一悬”三段式(图7)两种类型,这与前人在松辽

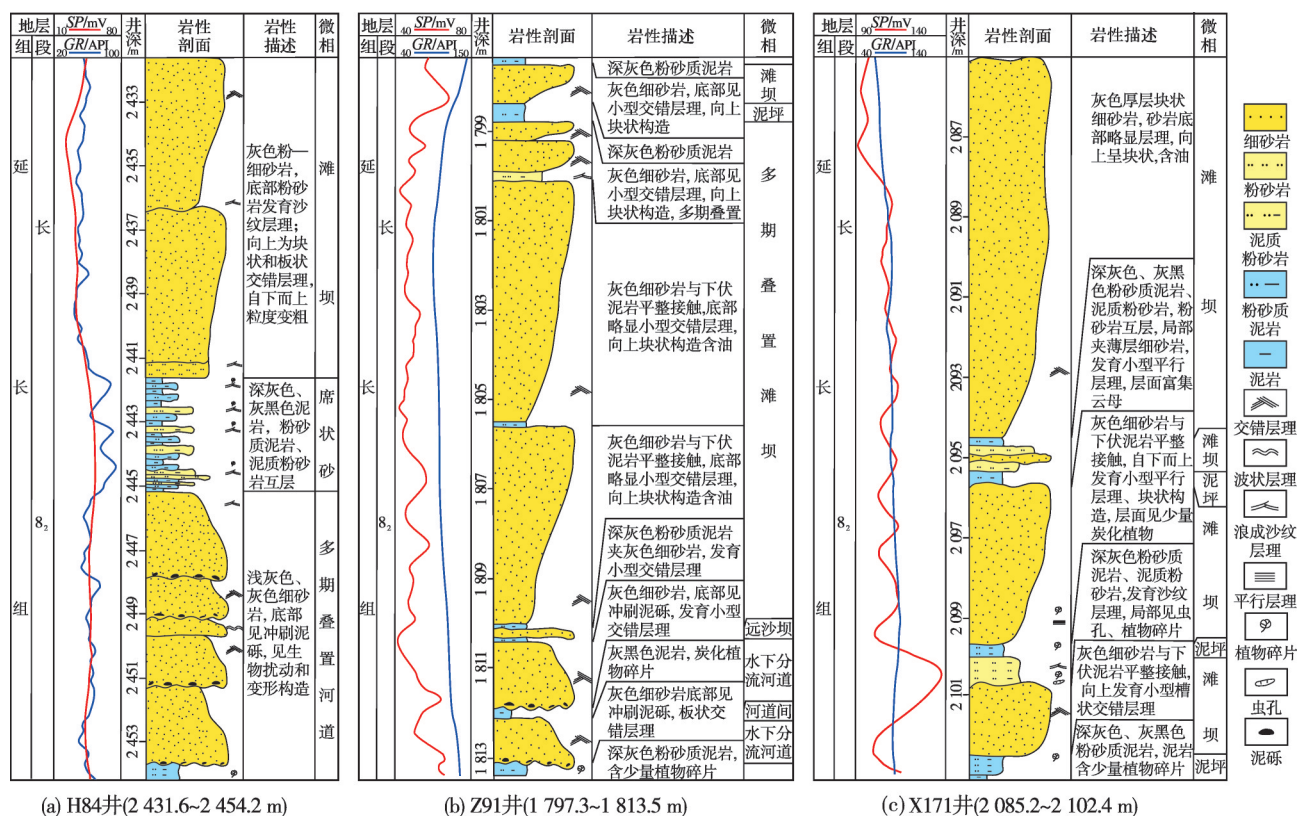


图6 鄂尔多斯盆地环县—合水地区典型井长₈₂取心段沉积相综合柱状图(井位见图8)

Fig. 6 Comprehensive column of sedimentary facies of coring interval of Chang 8₂ in typical wells in Huanxian-Heshui area, Ordos Basin(the well positions are shown in Fig. 8)

盆地和渤海湾盆地发现的典型滩坝砂体特征非常相似^[3,15],指示长₈₂砂体为滩坝成因。

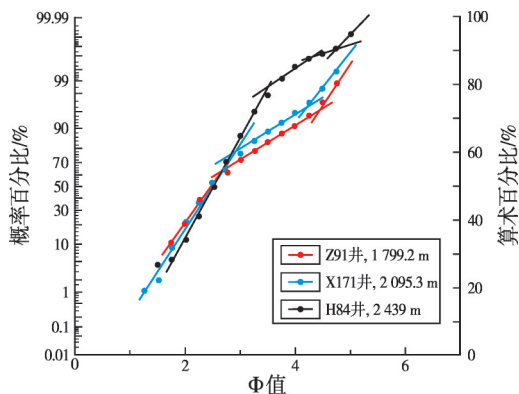


图7 鄂尔多斯盆地环县—合水地区长₈₂典型井滩坝砂体粒度概率累积曲线图(井位见图8)

Fig. 7 Probability cumulative grain size curves of beach and bar sand bodies of Chang ₈₂ in typical wells in Huanxian-Heshui area, Ordos Basin (the well positions are shown in Fig. 8)

4 延长组滩坝砂体沉积特征及沉积模式

由于钻遇长₈油层组的井较多,资料较为丰富,本文以长₈₂段为例解剖滩坝沉积的空间展布以及含油气性。在大量钻井岩心观察等实际资料分析的基础上,结合前人有关物源及湖盆底形等的研究成果^[50-51],绘制了全盆地延长组长₈₂砂体分布图(图8)。图中显示盆地西南部湖湾地带主要发育2期滩坝沉积,一期位于环县—合水一带,另一期位于华池一线。前人研究证实,长₈₂沉积时在环县—合水和华池一线存在2期与湖岸线相平行的坡折带^[51],两期滩坝砂体的展布方向大致与两期(个)坡折带相一致,也大致与两期湖岸线相平行。

从砂体构型看,延长组的滩坝沉积并非如青海湖那样典型的滩坝砂体,而是表现为如前所述的河坝共生型与滩坝叠置型的砂体在平面上的有规律分布,显示了该地区受到三角洲与湖浪作用的双重影响。正如纪友亮等^[52]认为在陆相盆地中,不同时期的分流河道、河口坝和滩坝砂体可以交织叠加在一起形成“三角洲—滩坝复合砂体”沉积体系,作者认为盆地西南部是以西北阿拉善古陆及西部陇西古陆物源为代表的相对短距离的辫状河三角洲—滩坝复合砂体沉积模式(图9),主要砂体类型为分流河道砂、水下分流河道砂以及滩坝砂。其中,滩坝砂体主要分布在盆地西南部的湖湾处,总体沿着湖岸线呈环带状展布,分布面积为5 800 km²;单个滩坝砂体多呈不规则状分布,厚5~16 m,最厚可达16 m(图8)。

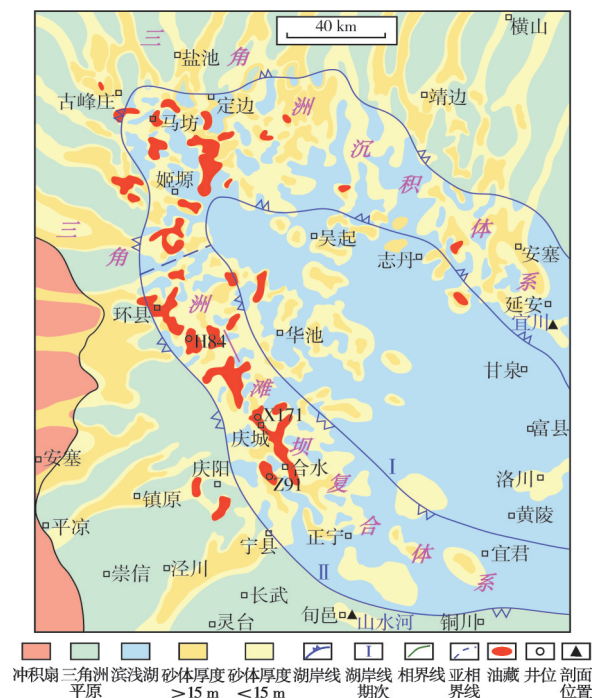


图8 鄂尔多斯盆地长₈₂砂体及油藏平面分布

Fig. 8 Plane distribution of sand bodies and oil reservoirs of Chang ₈₂ in Ordos Basin

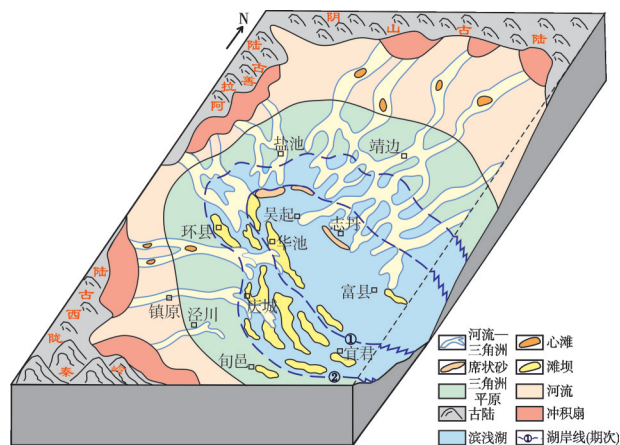


图9 鄂尔多斯盆地长₈₂滩坝砂体沉积模式

Fig. 9 Sedimentary model of beach and bar sand bodies of Chang ₈₂ in Ordos Basin

盆地西南部的一些高产井均与滩坝砂体有关。典型的例子是位于研究区的X171井、H84井等生产井,长₈₂试油日产量分别为35.36 t和13.43 t,岩心观察与测井解释证实产油层段均为滩坝砂体。事实上,在研究区长₈油层组,目前所发现的油气田或高产井大多沿平行于湖岸线的滩坝砂体分布(图8),由此可见,滩坝砂体直接控制了油气藏的富集与高产。需要说明的是,从形成与保存条件看,鄂尔多斯盆地东南部的长₉—长₈₂有利于滩坝砂体的发

育,但限于勘探程度,目前还不能够精确描述其平面分布。由于盆地东南部地区发育长9期烃源岩系^[53-54],与同期滩坝砂体构成有效生储盖组合,因此这一地区是今后寻找滩坝型油气藏的有利地区。

5 结 论

(1)基于对现代青海湖滩坝砂体形成和保存条件研究的认识,通过物源供给、湖盆底形、风动力-水动力、湖岸线形态及湖平面变化(层序演化)等方面的对比分析,认为晚三叠世延长期鄂尔多斯盆地的西南部是滩坝砂体发育的有利区。

(2)通过野外露头、钻井岩心、测井曲线等资料的分析,确认了鄂尔多斯盆地长9—长8₂—长7期沉积既处于二级层序的早期,同时又位于三级层序湖进体系域,十分有利于陆源碎屑滩坝的保存,并由此编制延长组长8₂期滨浅湖滩坝砂体分布图,指出盆地南部(包括西南部与东南部)长9—长8₂期是滩坝砂体发育与保存的有利地区。

(3)建立了盆地西南部以西北阿拉善古陆及西部陇西古陆物源为代表的相对短距离的辫状河三角洲—滩坝复合砂体沉积模式,认为长8₂不同时期的分流河道、河口坝和滩坝砂体交织叠加在一起形成“三角洲—滩坝复合砂体”沉积体系。指出勘探程度较低的东南部是今后寻找长9—长8₂滩坝型油气藏的有利地区。

参考文献

- [1] 姜在兴,王俊辉,张元福.滩坝沉积研究进展综述[J].古地理学报,2015,17(4):427-440.
- [2] 王冠民,王群,王春阳,等.论湖相滩与坝的成因差异[J].吉林大学学报(地球科学版),2016,46(1):1-10.
- [3] 潘树新,王建功,刘彩燕,等.坳陷湖盆沿岸坝沉积特征、分布规律及成藏机制:以松辽盆地南部青山口组为例[J].吉林大学学报(地球科学版),2012,42(增刊2):70-78.
- [4] 刘君龙,纪友亮,杨克明,等.浅水湖盆三角洲岸线控砂机理与油气勘探意义:以川西坳陷中段蓬莱镇组为例[J].石油学报,2015,36(9):1060-1073,1155.
- [5] 杨勇强,邱隆伟,姜在兴,等.陆相断陷湖盆滩坝沉积模式:以东营凹陷古近系沙四上亚段为例[J].石油学报,2011,32(3):417-423.
- [6] 王永诗,刘惠民,高永进,等.断陷湖盆滩坝砂体成因与成藏:以东营凹陷沙四上亚段为例[J].地质学前沿,2012,19(1):100-107.
- [7] 邓宏文,马立祥,姜正龙,等.车镇凹陷大王北地区沙二段滩坝成因类型、分布规律与控制因素研究[J].沉积学报,2008,26(5):715-724.
- [8] 李国斌,姜在兴,陈诗望,等.利津洼陷沙四上亚段滩坝沉积特征及控制因素分析[J].中国地质,2008,35(5):911-921.
- [9] 商晓飞,侯加根,程远忠,等.厚层湖泊滩坝砂体成因机制探讨及地质意义:以黄骅坳陷板桥凹陷沙河街组二段为例[J].地质学报,2014,88(9):1705-1718.
- [10] 林会喜,邓宏文,秦雁群,等.层序演化对滩坝储集层成藏要素与分布的控制作用[J].石油勘探与开发,2010,37(6):680-689.
- [11] 邱隆伟,周军良,王新征,等.山东峽山湖滩砂的现代沉积特征研究[J].矿物岩石地球化学通报,2010,29(2):142-148.
- [12] 胡晨林,张元福,姜在兴,等.风浪作用下鄱阳湖现代滨岸滩坝的形态变化[J].石油学报,2015,36(12):1543-1552.
- [13] 王菁,李相博,刘化清,等.陆相盆地滩坝砂体沉积特征及其形成与保存条件:以青海湖现代沉积为例[J].沉积学报,2019,37(5):1016-1030.
- [14] 韩元红,郝乐伟,王琪,等.青海湖近岸现代沉积滩坝主要类型及沉积特征[J].古地理学报,2016,18(5):759-768.
- [15] 陈世悦,杨剑萍,操应长.惠民凹陷西部下第三系沙河街组两种滩坝沉积特征[J].煤田地质与勘探,2000,28(3):1-4.
- [16] 朱筱敏,信荃麟,张晋仁.断陷湖盆滩坝储集体沉积特征及沉积模式[J].沉积学报,1994,12(2):20-28.
- [17] 杨华,付金华,喻建.陕北地区大型三角洲油藏富集规律及勘探技术应用[J].石油学报,2003,24(3):6-10.
- [18] 付金华,郭正权,邓秀芹.鄂尔多斯盆地西南地区上三叠统延长组沉积相及石油地质意义[J].古地理学报,2005,7(1):34-44.
- [19] 杨友运.鄂尔多斯盆地南部延长组沉积体系和层序特征[J].地质通报,2005,24(4):369-372.
- [20] 李文厚,庞军刚,曹红霞,等.鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组沉积体系及岩相古地理演化[J].西北大学学报(自然科学版),2009,39(3):501-506.
- [21] 李元昊,刘池洋,独育国,等.鄂尔多斯盆地西北部上三叠统延长组长8油层组浅水三角洲沉积特征及湖岸线控砂[J].古地理学报,2009,11(3):265-274.
- [22] 李凤杰,王多云,郑希民,等.陕甘宁盆地华池地区延长组缓坡带三角洲前缘的微相构成[J].沉积学报,2002,20(4):582-587.
- [23] 刘自亮,王多云,王峰,等.陕甘宁盆地西峰油田主要产层储油砂体沉积微相组合及特征[J].沉积学报,2005,23(2):248-254.
- [24] 刘自亮,王多云,李凤杰,等.鄂尔多斯盆地西峰油田主要储层砂体的成因与演化[J].地质科技情报,2008,27(2):68-72.
- [25] 李凤杰,王多云.坳陷湖盆三角洲前缘沉积微相构成及其分带性:以鄂尔多斯盆地上三叠统延长组为例[J].天然气地球科学,2006,17(6):775-778.
- [26] 袁宝印,陈克造,BOWLER J M,等.青海湖的形成与演化趋势[J].第四纪研究,1990(3):233-241.
- [27] 王新民,宋春晖,师永民,等.青海湖现代沉积环境与沉积相特征[J].沉积学报,1997(增刊1):157-162.
- [28] 宋春晖,方小敏,师永民,等.青海湖现代三角洲沉积特征及形成控制因素[J].兰州大学学报(自然科学版),2001,37(3):112-120.
- [29] 宋春晖,王新民,师永民,等.青海湖现代滨岸沉积微相及其特征[J].沉积学报,1999,17(1):51-56.
- [30] 师永民,董普,张玉广,等.青海湖现代沉积对岩性油气藏精细勘探的启示[J].天然气工业,2008,28(1):54-57.
- [31] 梁积伟,肖丽,高小林,等.鄂尔多斯盆地晚三叠世早期物源分析[J].西北地质,2008,41(2):81-86.
- [32] 刘化清,李相博,陈启林,等.鄂尔多斯盆地延长组若干石

- 油地质问题分析[M].北京:科学出版社,2013.
- [33] WANG Jing, LI Xiangbo, LIU Huaqing, et al. Depocenter migration of the Ordos Basin in the late Triassic and its controls on shale distribution[J]. Interpretation, 2017, 5(2): 81-98.
- [34] CARR TIMOTHY R, ANDERSON N L, FRANSEEN E K. Paleogeomorphology of the upper Arbuckle karst surface: implications for reservoir and trap development in Kansas [C]. AAPG Annual Convention, 1994, 3: 117-120.
- [35] 傅强, 李益. 鄂尔多斯盆地晚三叠世延长组长6期湖盆坡折带特征及其地质意义[J]. 沉积学报, 2010, 28(2): 294-298.
- [36] YANG Renchao, JIN Zhijun, VAN LOON A J(Tom), et al. Climatic and tectonic controls of lacustrine hyperpycnite origination in the Late Triassic Ordos Basin, central China: implication for unconventional petroleum development [J]. AAPG bulletin, 2017, 101(1): 95-117.
- [37] WANG Junhui, JIANG Zaixing, XIAN Benzong, et al. A method to define the palaeowind strength from lacustrine parameters[J]. Sedimentology, 2018, 65(2): 461-491.
- [38] 安芷生, 张培震, 王二七, 等. 中新世以来我国季风-干旱环境演化与青藏高原的生长[J]. 第四纪研究, 2006, 26(5): 678-693.
- [39] 韩元红, 郝乐伟, 王琪, 等. 盛行风控制下的青海湖水动力特征[J]. 人民黄河, 2016, 38(3): 51-55.
- [40] 塔斯肯, 李江海, 李维波, 等. 三叠纪全球板块再造及岩相古地理研究[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2014(5): 153-162.
- [41] 朱日祥, 杨振宇, 吴汉宁, 等. 中国主要地块显生宙古地磁视极移曲线与地块运动[J]. 中国科学: D辑 地球科学, 1998, 28(增刊1): 1-16.
- [42] 吴汉宁, 常承法, 刘椿, 等. 华北和华南块体古生代至中生代古地磁极移曲线与古纬度的分布变化[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1991, 21(3): 99-105.
- [43] 马醒华, 邢历生, 杨振宇, 等. 鄂尔多斯盆地晚古生代以来古地磁研究[J]. 地球物理学报, 1993, 36(1): 68-79.
- [44] SELLEY R C. Applied sedimentology [M]. 2nd ed. New York: Academic Press, 2000.
- [45] 楚美娟, 郭正权, 白嫦娥. 鄂尔多斯盆地延长组长8油层组沉积及其演化特征[J]. 石油天然气学报, 2012, 34(2): 13-18.
- [46] 郭彦如, 刘化清, 李相博, 等. 大型凹陷湖盆层序地层格架的研究方法体系: 以鄂尔多斯盆地中生界延长组为例[J]. 沉积学报, 2008, 26(3): 384-391.
- [47] 熊林芳, 刘池洋, 王建强, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积层序研究现状及问题[J]. 地层学杂志, 2015, 39(3): 345-350.
- [48] 完颜容, 李相博, 刘化清, 等. 鄂尔多斯盆地延长组长10期沉积环境与沉积体系[J]. 沉积学报, 2011, 29(6): 1105-1114.
- [49] 刘化清, 李相博, 完颜容, 等. 鄂尔多斯盆地长8油层组古地理环境与沉积特征[J]. 沉积学报, 2011, 29(6): 1086-1097.
- [50] 刘化清, 袁剑英, 李相博, 等. 鄂尔多斯盆地延长期湖盆演化及其成因分析[J]. 岩性油气藏, 2007, 19(1): 52-56.
- [51] 吕强, 赵俊兴, 陈洪德, 等. 鄂尔多斯盆地南部中生界延长组物源与盆地地形分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2008, 35(6): 610-616.
- [52] 纪友亮, 刘君龙, 王天云, 等. 陆相湖盆三角洲—滩坝复合砂体分布模式及编图方法[J]. 古地理学报, 2016, 18(4): 615-630.
- [53] 张文正, 杨华, 李善鹏. 鄂尔多斯盆地长₉湖相优质烃源岩成藏意义[J]. 石油勘探与开发, 2008, 35(5): 557-562.
- [54] 段毅, 于文修, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地长9油层组石油运聚规律研究[J]. 地质学报, 2009, 83(6): 107-112.

编辑:黄革萍

Study on the development and preservation of shore-shallow lacustrine beach and bar of the Mesozoic Yanchang Formation in Ordos Basin based on the modern sedimentary characteristics of Qinghai Lake

WANG Jing, LIU Yuanbo, LI Xiangbo, LIU Huaqing, ZHANG Zhijie,
WANYAN Rong, WANG Hongbo, HUANG Junping

Abstract: Based on the understanding for the formation and preservation conditions of the beach and bar sand bodies in Qinghai Lake, using the basic principle of “the present is the key to the past” in geology, this paper carried out a comparative study on shore-shallow lacustrine beach and bar deposits in modern Qinghai Lake and ancient Ordos Basin from the aspects of provenance supply, topography of lake basin, (wind) hydrodynamic force, lake shoreline morphology and lake level cycle (base level). It is considered that during the deposition of Yanchang Formation in Upper Triassic, Chang 9–Chang 8₂–Chang 7 sedimentary period is not only in the early stage of second-order sequence, but also in the lake transgressive system tract of third-order sequence, which is very conducive to the preservation of terrigenous clastic beach and bar. The prediction model of the distribution of shore-shallow lacustrine beach and bar of Yanchang Formation is established. It is pointed out that the southern basin (including southwest and southeast) is a favorable area for the development and preservation of the beach and bar sand bodies of Chang 9–Chang 8₂–Chang 7, and is also a favorable area for looking for the favorable beach and bar reservoirs in the future.

Key words: shore-shallow lacustrine; beach and bar; modern sedimentation; Qinghai Lake; Yanchang Formation; Ordos Basin

WANG Jing, First author: Senior Engineer, mainly engaged in comprehensive research on petroleum geology. Add: Northwest Branch of PetroChina Research Institute of Petroleum Exploration and Development, No. 535, Yan'erwan Rd., Chengguan District, Lanzhou, Gansu 730020, China